

# **Automatisierte Qualitätssicherung von CFK-Bauteilen mittels luftgekoppeltem Ultraschall**

Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2014  
Augsburg 18.9.2014

Armin Huber

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP)



Knowledge for Tomorrow



# Motivation

## (Luft-)Ultraschall in der CFK-Prüfung

### Wasser als Kopplungsmedium:

- Vorteil: Standardmethode bei der Prüfung von ausgehärteten Bauteilen
- Nachteil:
  - Bauteil wird nass
  - Großer Aufwand für Wasser Zu- und Abführung, Schutz der Umgebung vor Wasser
  - Poröse Bauteile schwer prüfbar

### ZLP: Geplant Luftultraschall!

### Luft als Kopplungsmedium:

- In Normaldurchschallung schon umgesetzt
- In Schrägeinschallung Labormaßstab

- Entwicklung der Methode hin zur Anwendbarkeit im Industriemaßstab
- Automatisierung zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit
- Integration in den (automatisierten) CFK-Produktionsprozess

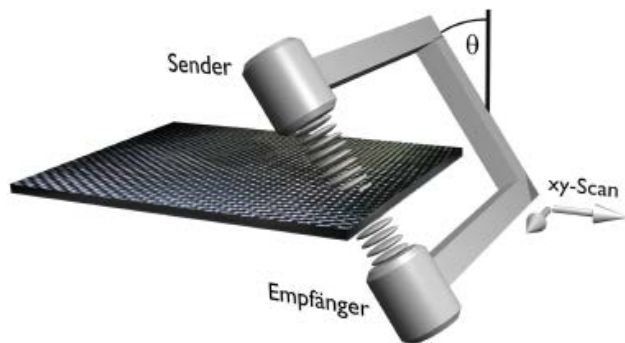
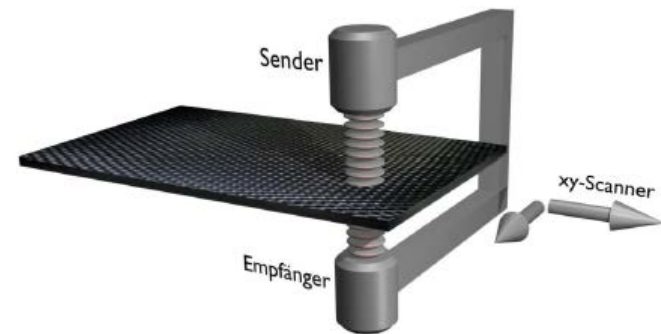




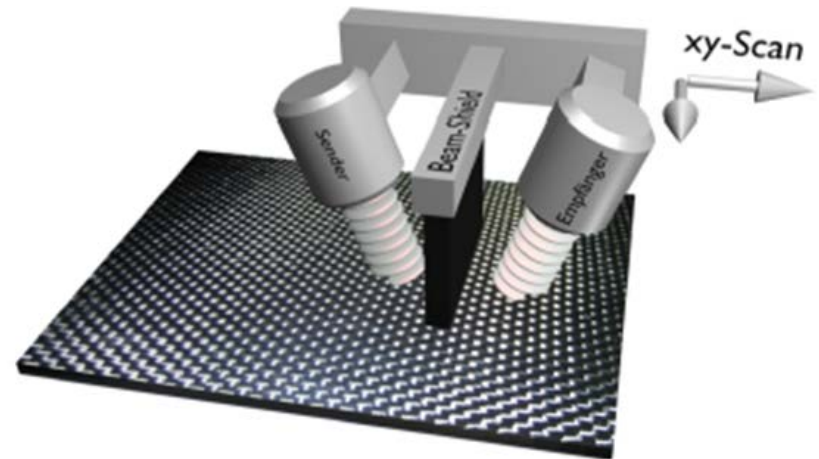
# Methode Luftultraschall

## Messprinzipien

Transmission (1 oder 2 Roboter)



Reflexion (Reemission!)(1 Roboter)



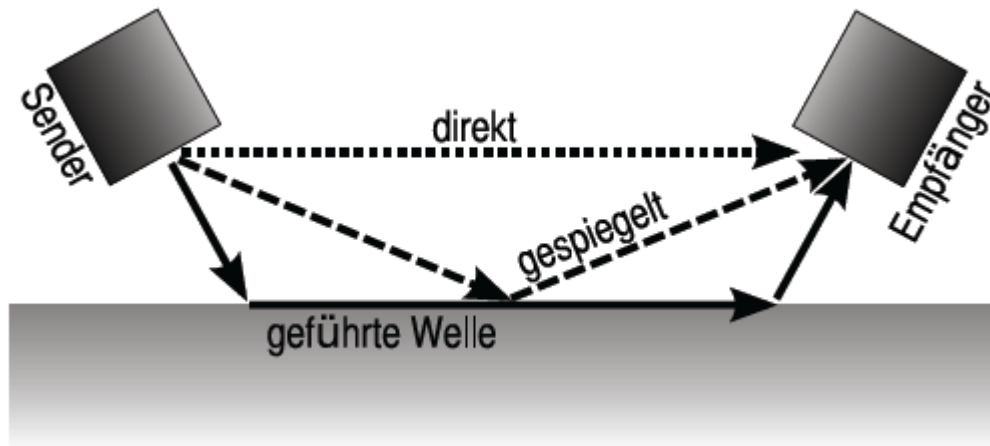
Einseitige Zugänglichkeit  
zum Bauteil ausreichend!

Quelle: Daniel Döring, *Luftgekoppelter Ultraschall und geführte Wellen für die Anwendung in der Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung*, Universität Stuttgart, 2011



# Methode Luftultraschall

## Anregung und Detektion von Lambwellen



Schwingung der Platte über  
seine gesamte Dicke!

Snelliussches  
Brechungsgesetz:

$$\sin \theta = \frac{\lambda_L}{\lambda_P} = \frac{V_L}{V_P}$$

$\lambda$ : Wellenlänge

$V$ : Phasengeschwindigkeit

$L$ : Index für Luft

$P$ : Index für Platte

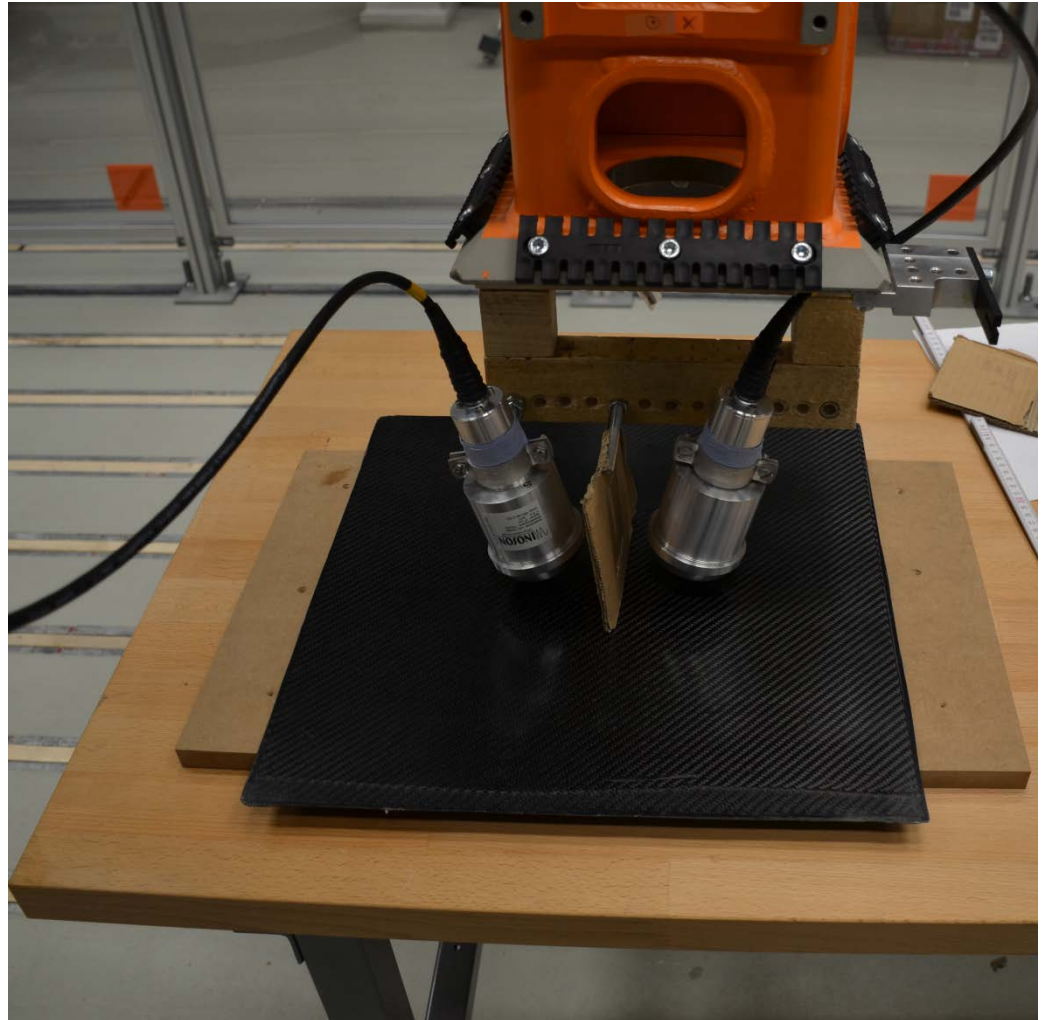
Quelle: Daniel Döring, *Luftgekoppelter Ultraschall und geführte Wellen für die Anwendung in der Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung*, Universität Stuttgart, 2011



# Messungen mit Lambwellen

## Ebene Platte mit künstlichen Fehlern

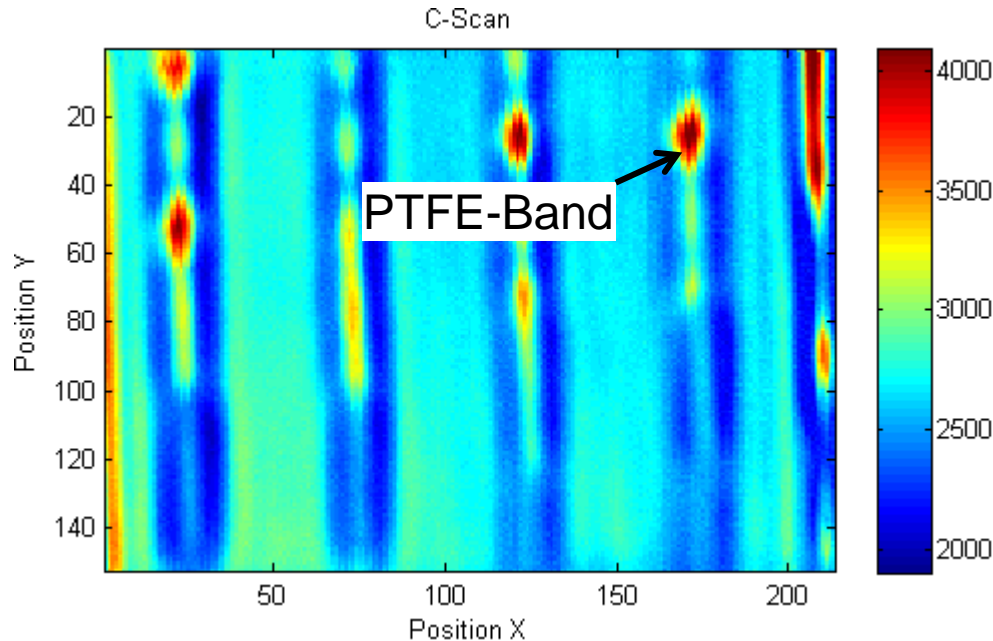
- Automatisierung durch Roboter
- 6-Achsen → hohe Flexibilität
- Prüfung auch komplex geformter Bauteile möglich
- Beibehaltung von Abstand zum Bauteil und Ausrichtung der Prüfköpfe





# Messungen mit Lambwellen

## C-scan: Ebene Platte mit künstlichen Fehlern



Messparameter:

- Prüfkopffrequenz: 110kHz
- Stop & Go - Betrieb
- Schallpulsfrequenz: 4Hz

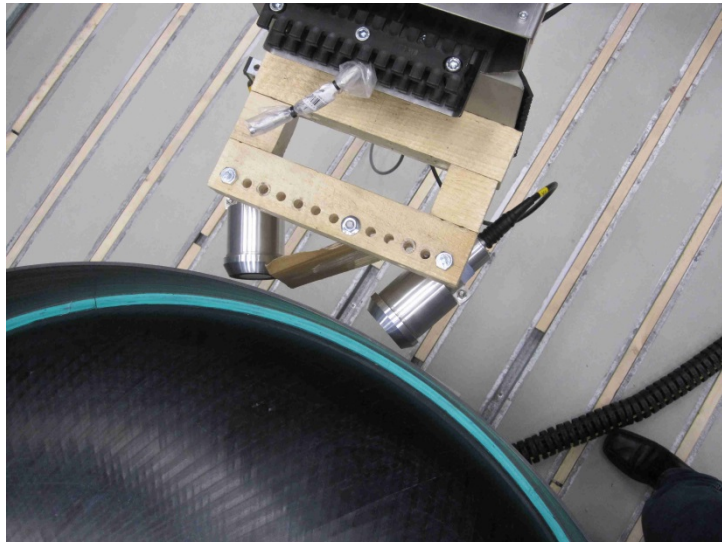
Rot = hohe Amplitude

Blau = niedrige Amplitude

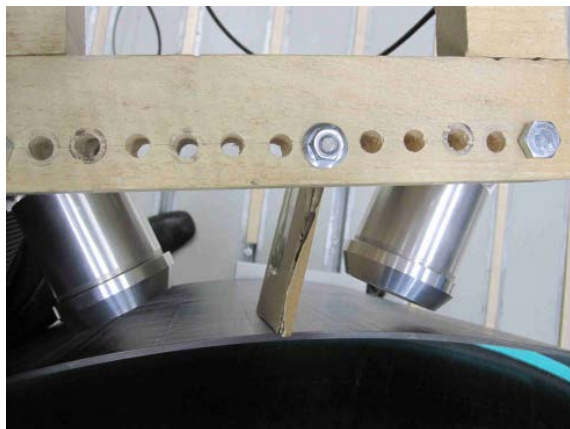
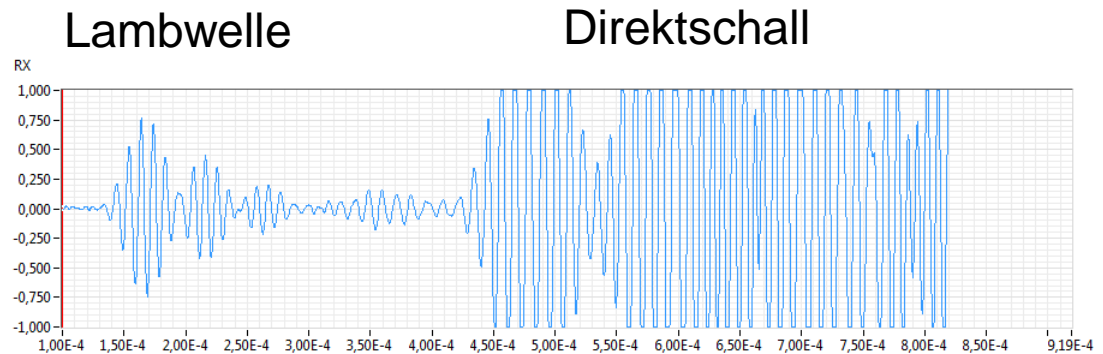
→ Künstliche Fehler mit Luftultraschallmethode detektierbar!

# Messungen mit Lambwellen

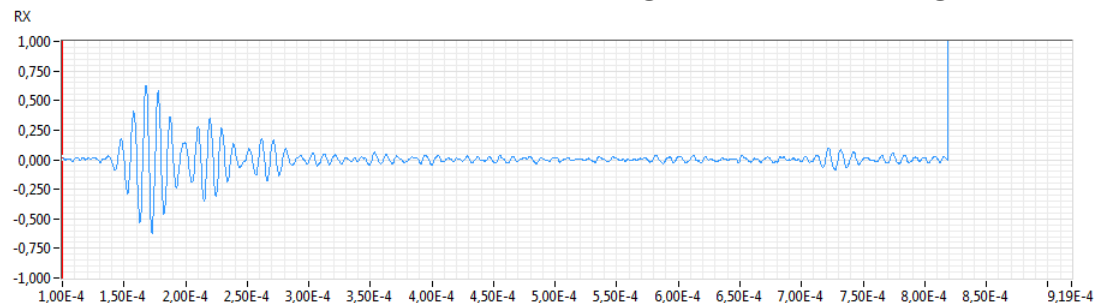
## Lambwellen und Direktschall



A-Scan:  
Direktschall nicht abgeblendet



Direktschall kann fast vollständig abgeblendet werden → keine Beeinflussung der Messung!

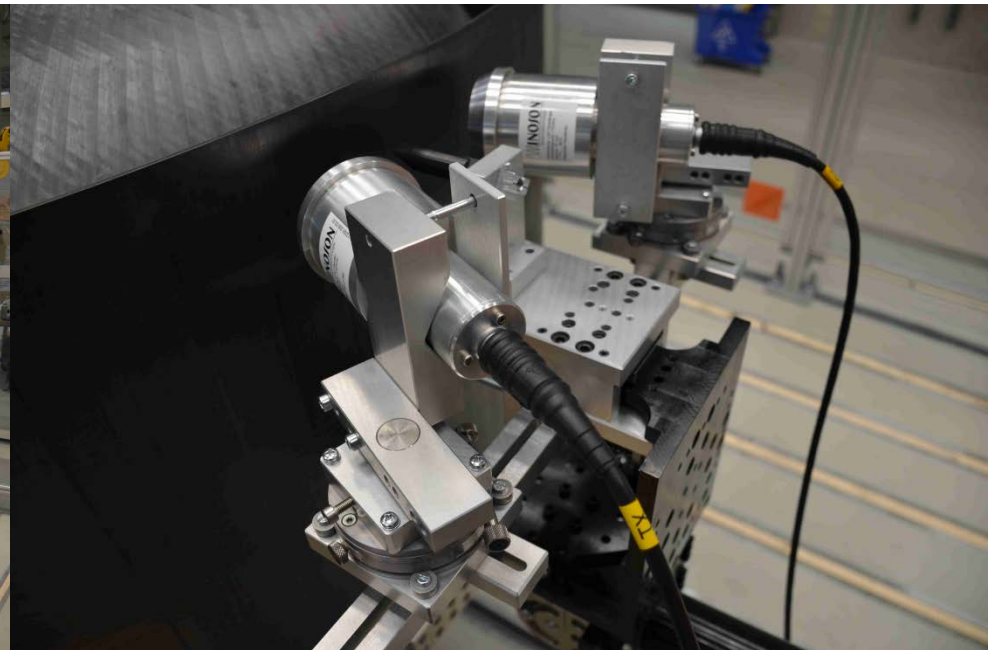
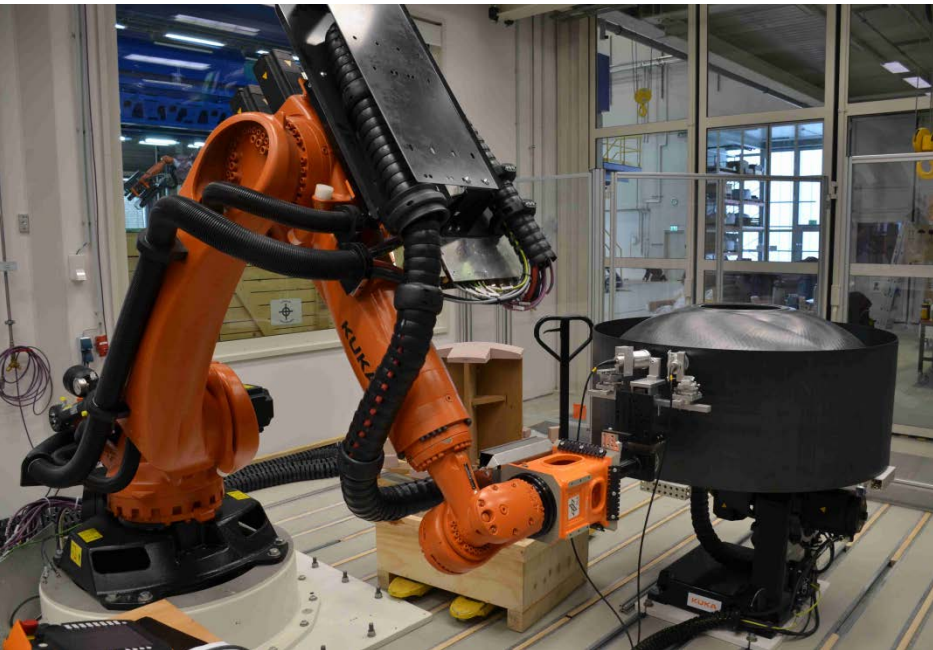


# Messungen mit Lambwellen

## Messung eines Demonstratorbauteils

Validierung der Messmethode an komplexer Bauteilgeometrie  
Neuer Luftultraschall-Endeffektor

- Verstellung Prüfköpfe: X,Y,Z,Einschallwinkel;
- Dokumentation und Reproduktion der Prüfkopfeinstellungen





# Messungen mit Lambwellen

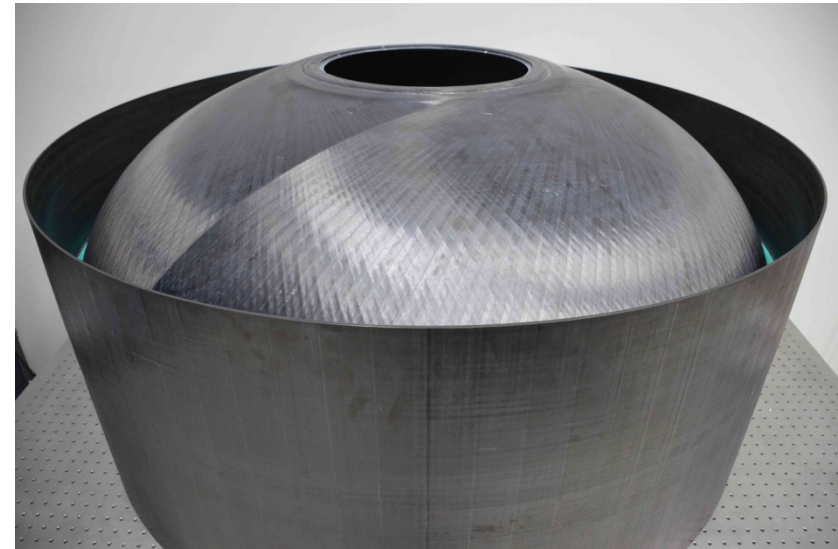
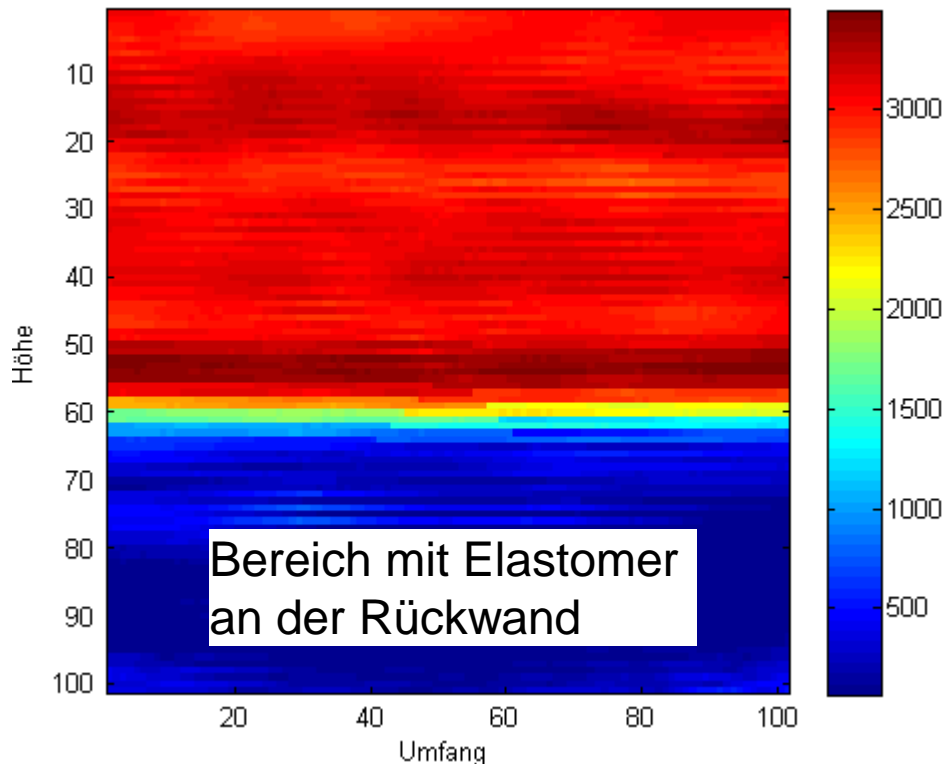
## Film: Testfahrt am Demonstratorbauteil



# Messungen mit Lambwellen

## C-scan: Zylinderbereich des Demonstratorbauteils

C-Scan



Messparameter:

- Prüfkopffrequenz: 110kHz
- Stop & Go - Betrieb
- Schallpulsfrequenz: 4Hz

**Rot** = hohe Amplitude  
**Blau** = niedrige Amplitude

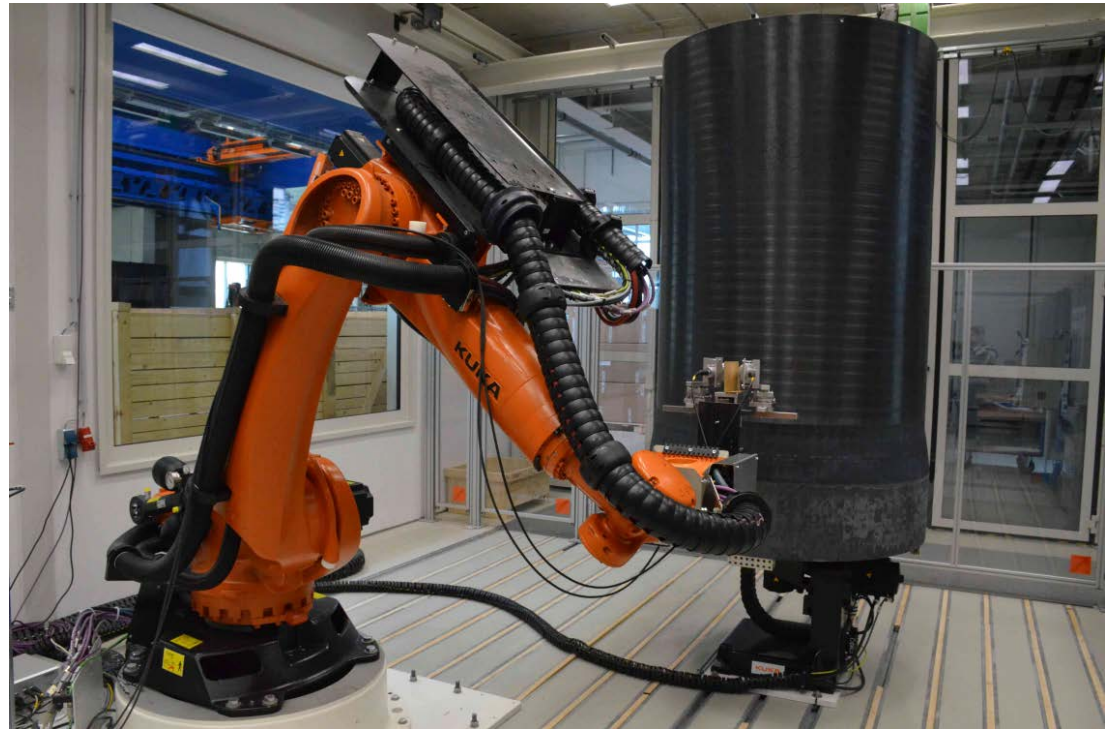
→ Prüfung der Anbindung einer Elastomerbeschichtung an der Rückseite der CFK-Wand möglich!



# Messungen mit Lambwellen

## Prüfung eines Raketentriebwerks (Maßstab 1:3)

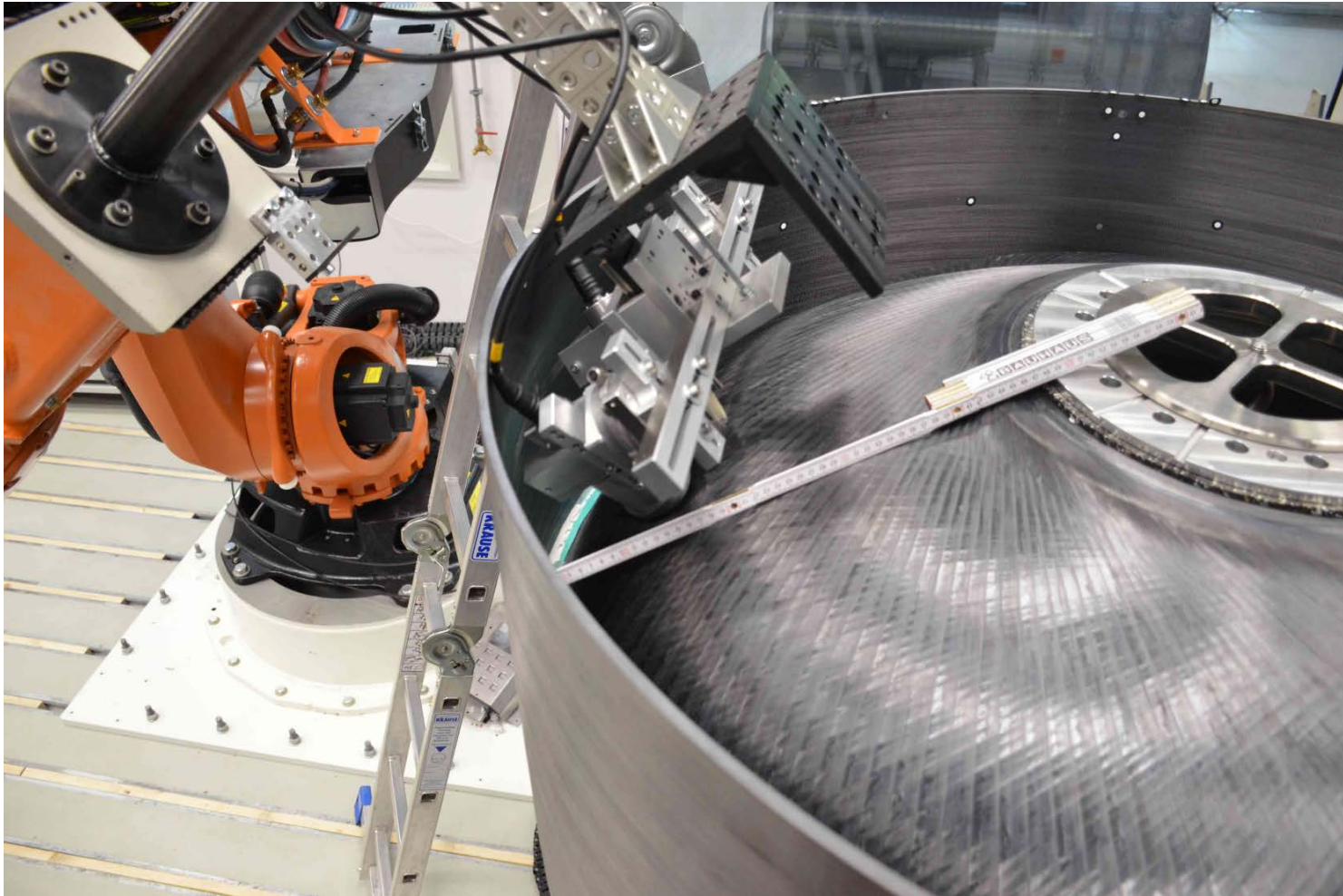
- Versuchsträger Kurz/Lang auf Dreh-Kipp-Positionierer (DKP)
- **Wegen hoher Porosität mit Kontakttechnik nicht prüfbar**
- Höhe: 1,4 / 2,3m
- Durchmesser: 1,4m
- Wandstärke: 5-40 mm
- Prüfköpfe robotergeführt
- Prüfkopffrequenzen:  
64kHz und 200kHz





# Messungen mit Lambwellen

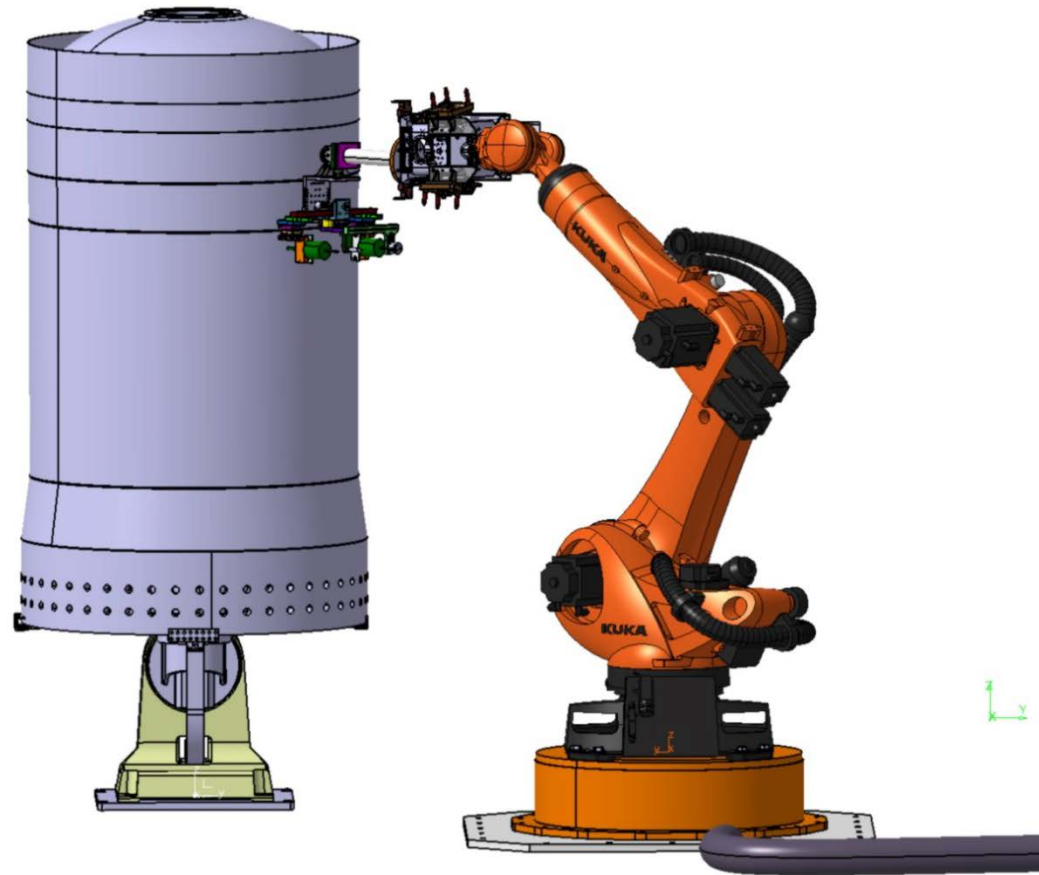
## Dombereich „Versuchsträger Kurz“



# Messungen mit Lambwellen

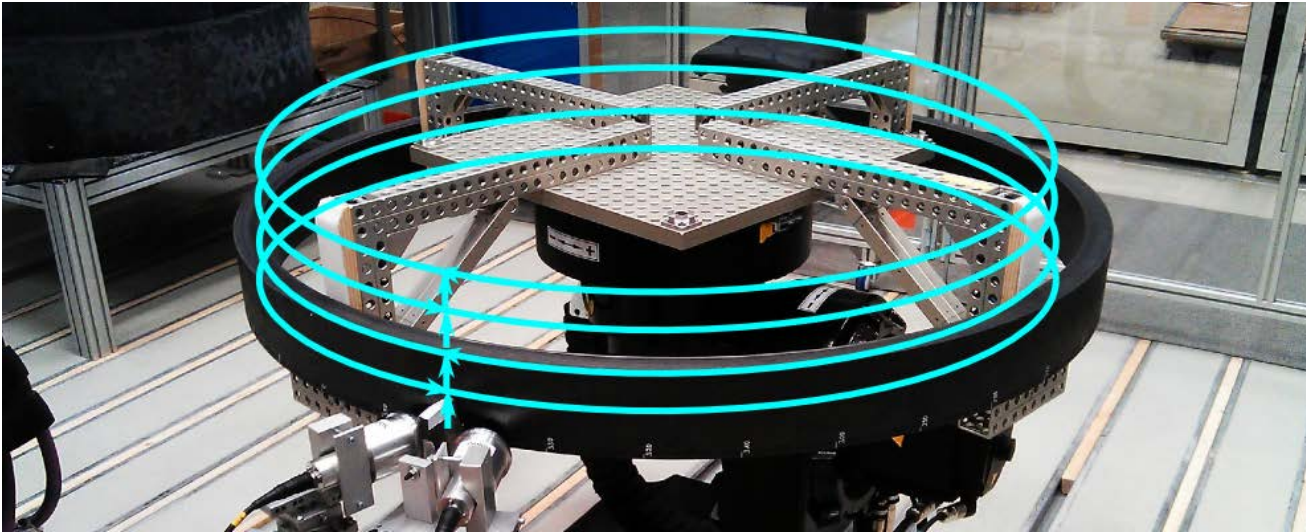
## Offlineprogrammierung des Roboters

- Messprogramm für Roboter offline mit DELMIA / Fastsurf generiert
- Messfahrtkoordinaten werden aus geometrischer Vermessung des Bauteils abgeleitet
- Einlesen des Messprogramms in die Robotersteuerung



# Messungen mit Lambwellen

## Die Messfahrt auf dem Bauteil



### KUKA-Paket „Fast Send Driver“

- **Bahngetreue Triggerung** (on the fly):  
Schallpulse im 2mm-Raster entlang der Bahn
- Zuordnung Messpositionen zu Messwerten
- Schallpulsfrequenz: bis 115Hz → 230mm/s Bahngeschwindigkeit

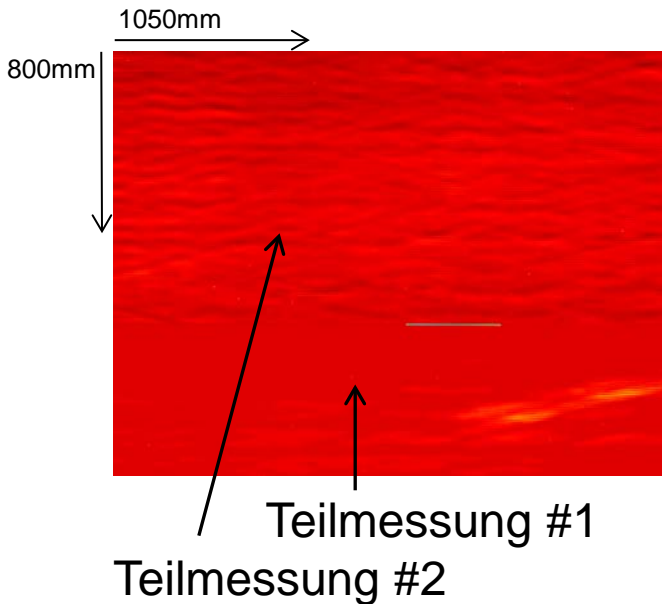




# Ausschnitt aus Zylinderbereich - 64 kHz

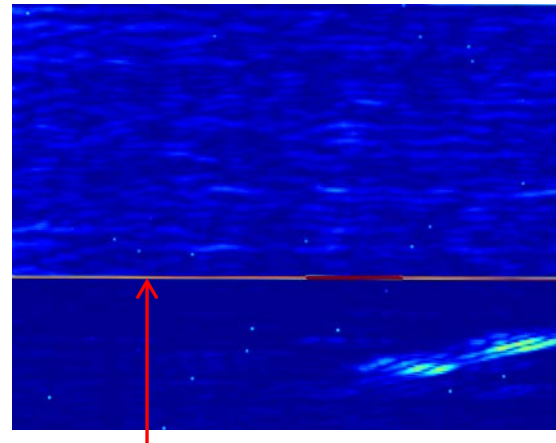
Visualisierung in Matlab in Zusammenarbeit mit  
IKT, Stuttgart

Ultraschallrohdaten



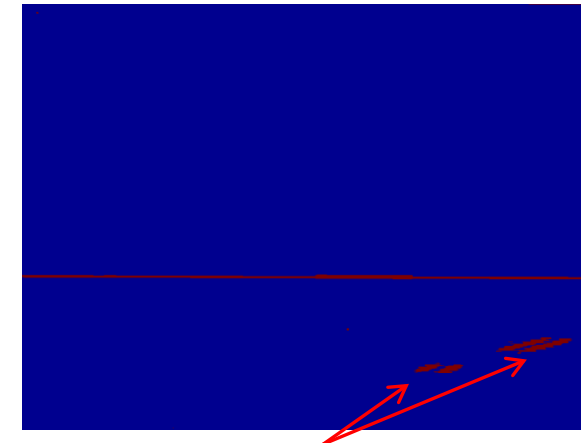
→ Lagenstruktur (in Teil-Messung 2) erkennbar!

Lokale Standard-  
abweichung



Grenze zw. Teilmessungen  
(kein „Bauteilfehler“)

Lokale Standard-  
Abweichung >150



Anzeigen überschreiten  
Amplitudenkriterium

→ Fehler identifiziert!  
(Flächenkriterium noch  
zu bestimmen...)



# Multifunktionale Zelle (MFZ)

Flexibler Einsatz der Luftultraschallanlage in unterschiedlichen Roboterumgebungen



- Forschungsplattform für Industrie und Institute
- 2 Industrieroboter, 3 Portalroboter an schrägen z-Achsen



# Zusammenfassung und Ausblick

## Erreicht:

- Luftultraschallprüfung in Schrägeinschallung durch 1 Roboter im **Stop & Go-Betrieb** und **On-The-Fly-Betrieb** erfolgreich
- Roboterprogrammierung durch **Offlineprogrammierung**
- Messung **ebener Platte, ein- und mehrfach gekrümmter** Geometrien
- **Visualisierung** der Daten in 2D und 3D und **Auswertung**

## Nächste Schritte:

- Integration der Luftultraschallanlage in **Multi-Roboter-Umgebungen** und Messungen in Transmission (2 kooperierende Roboter/Portalroboter)
- Weitere **Steigerung des Automatisierungsgrades** der LUS-Anlage
- Automatisierung der **Fehlerauswertung**



**Vielen Dank!  
Fragen?**

**Armin Huber M.Sc.**

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)**

Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie

Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie

Am Technologiezentrum 4

86159 Augsburg

Telefon 0821 319874-1064

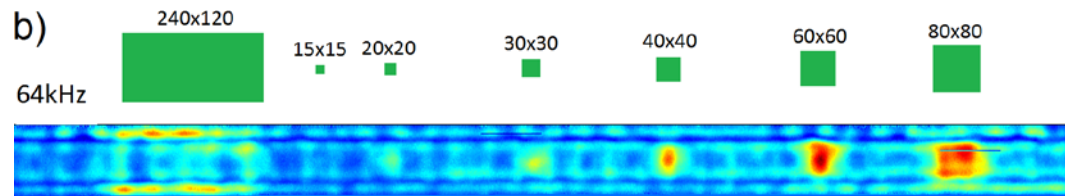
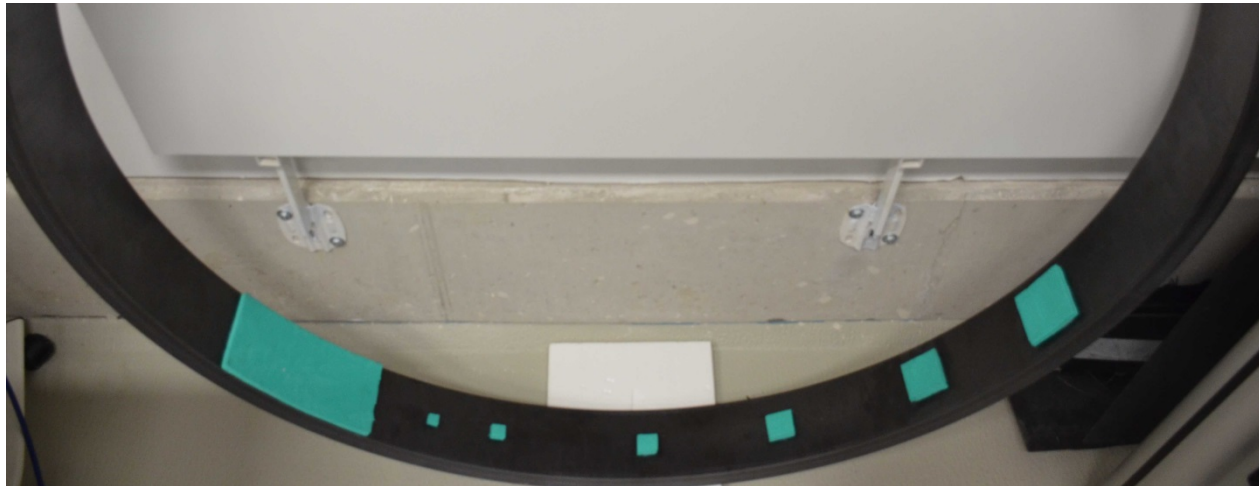
[armin.huber@dlr.de](mailto:armin.huber@dlr.de)





# Messungen mit Lambwellen

## Anregung von Lambwellen in 40mm dickem Laminat



Elastomerlagen an der Innenseite bei  
Messung mit 64kHz Prüfköpfen sichtbar  
→ Beweis für Anregung von Lambwellen!

